

沾化凹陷沙四段上亚段滩坝沉积特征及其主控因素

刘江涛, 邓大伟, 廖东良, 赵文杰, 王 卫
(中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要:在岩心观察和分析测试的基础上,结合录井、测井等资料,运用沉积学理论,对沾化凹陷沙四段上亚段滩坝的沉积特征和分布规律进行研究,并分析其主控因素。结果表明,研究区发育砂岩滩坝和碳酸盐岩滩坝2种类型;其中砂岩滩坝主要分布于罗家鼻状构造及其周缘,岩性以灰色粉、细砂岩为主,分选好、成熟度高;碳酸盐岩滩坝分为生物礁和灰岩滩坝2种类型,生物礁主要沿义东断裂带呈长条状分布,岩性以灰色灰岩和灰质白云岩为主,分选较差,一般为原地沉积或仅经过短距离的运移;灰岩滩坝主要分布于邵家洼陷,岩性以灰色灰岩为主。古气候、古地貌和古物源为沾化凹陷滩坝沉积的主控因素,独特的古气候条件决定了研究区水量相对缺乏,与南缓北陡的古地貌特征和西部物源缺乏的古物源特征共同控制着滩坝沉积的区域、规模和类型。

关键词:沙四段上亚段 砂岩滩坝 灰岩滩坝 生物礁 沾化凹陷

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)01-0042-05

Sedimentary characteristics and main controlling factors of the upper fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua depression

Liu Jiangtao, Deng Dawei, Liao Dongliang, Zhao Wenjie, Wang Wei
(SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing City, 100101, China)

Abstract: Based on core observation and test and mud logging data analysis, the sedimentary characteristics and distribution of beach-bar in the upper fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua depression were researched, and the main controlling factors were analyzed. The results show that there are sandy beach-bar and carbonate beach-bar in the study area. The sandy beach-bars mainly distribute in LuoJia nose structure and in neighboring regions. The lithology of the sandy beach-bars is mainly gray fine sandstone and siltstone with good sorting and high maturity. Carbonate beach-bar is classified into organic reefs and limestone. The organic reefs mainly distribute along Yidong fault zone with a strip shape, and the lithology is mainly gray limestone and limy dolomite with poor sorting. They deposited generally in situ or settled down after a short distance migration. The limestone beach-bars mainly distribute in Shaojia sag, and the lithology is mainly gray limestone. The main controlling factors are paleo-climate, paleo-landform and paleo-provenance: the specific paleo-climate resulted in a lack of water in the study area; the ancient landform developed a steep slope zone in the north and a gentle slope zone in the south; and the paleo-provenance was characteristic of lacking western provenance. The distribution area, scale and type of the beach-bars are controlled by the three factors jointly.

Key words: the upper fourth member of Shahejie Formation; sandy beach-bar; limestone beach-bar; organic reefs; Zhanhua depression

随着勘探程度的提高,在含油气盆地中受主物源影响的扇三角洲、三角洲和浊积扇等厚层砂砾岩

收稿日期:2014-11-03。

作者简介:刘江涛(1981—),男,河北邢台人,工程师,博士,从事测井、录井综合解释技术和石油地质研究。联系电话:(010)84988381, E-mail: ljt0310@163.com。

基金项目:中国石化重点科技攻关项目“地质约束条件下沾化地区滩坝砂测井解释评价”(P11031)。

体已进入勘探后期,难以获得较大的突破;而随着钻井工程、油田开发等技术的发展^[1-2]以及对含油气盆地认识程度的加深,远离主物源区的低渗透隐蔽岩性体越来越受到重视,滩坝就是其中最重要的目标之一^[3-4]。针对滩坝的沉积特征,众多学者已做了大量研究^[5-14],朱筱敏等根据滩坝的沉积环境和发育位置,将滩坝分为湖岸线拐弯处滩坝、水下古隆起滩坝、开阔浅湖滩坝和短轴三角洲侧缘滩坝4种模式^[5];操应长等对东营凹陷南坡沙四段上亚段滩坝砂体的沉积特征进行了研究,并将其划分为坝主体、坝侧缘、滩脊和滩席等沉积微相^[6];邬金华等将滩坝划分为陆源碎屑滩坝和碳酸盐岩滩坝^[7],刘磊等对中国滩坝砂的勘探现状与储层基本特征进行了分析^[14];这些研究对于认识滩坝的沉积规律及分布特征均具有很好的指导作用。

目前在渤海湾盆地济阳拗陷已发现了大量的含油气滩坝砂体,显示出良好的勘探前景;但是由于滩坝砂体往往呈砂、泥岩薄互层沉积,单层厚度小,隐蔽性强,因此难以识别和预测,极大地制约了勘探开发的进程;而前人的研究多集中于滩坝的沉积模式和沉积微相划分,对于滩坝沉积的主控因素研究较少。为此,笔者以沉积学理论为基础,结合岩心观察、测井和录井等资料,对沾化凹陷沙四段上亚段滩坝的沉积特征进行研究,并分析其沉积主控因素,以期更好地指导研究区下步的油气勘探。

1 区域地质概况

沾化凹陷位于渤海湾盆地,是济阳拗陷东北部次一级的负向构造单元,由邵家洼陷、四扣洼陷、渤南洼陷和罗家鼻状构造组成,勘探面积约为500 km²,已发现四扣、渤南、义东、邵家和罗家等大中型油田。其发育受北东、北东东向张性和张扭性大断裂控制,形成北陡南缓的箕状断陷湖盆,整体呈北东和北东东向展布,平面上呈向西南端收敛、北东向撒开的喇叭状^[15]。沾化凹陷新生界发育完整,自下而上为古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组;其中,沙四段下亚段广泛发育滩坝沉积,岩性以灰色粉、细砂岩为主,砂体厚度一般小于10 m,多与泥岩呈薄互层沉积。在沙四段上亚段沉积时期,研究区处于断陷盆地发育阶段,经过早期的沉积充填,在南部斜坡带和西北部邵家洼陷形成相对平缓的古地形特征;在四扣洼陷西北部的义东断裂带,由于拉张作用使断裂上盘发生沉降,形成落差较大的台阶状地形特征。

2 沉积特征

依据成因可将沾化凹陷沙四段上亚段滩坝划分为2种类型,分别为砂岩滩坝和碳酸盐岩滩坝。其中,砂岩滩坝包括沙滩和砂坝,一般形成于开阔的滨浅湖区域,为盆地边缘三角洲或其他近岸砂体经过再搬运、沉积所形成^[5,16];碳酸盐岩滩坝包括生物礁和灰岩滩坝2种类型,主要发育于水体清澈、水深较浅的低隆起区或岸边^[17]。

2.1 砂岩滩坝

研究区沙四段上亚段砂岩滩坝的岩石类型主要为灰色、浅灰色细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩等,很少见中、粗砂岩和砾岩;垂向上呈频繁的砂、泥岩薄互层沉积,砂岩厚度小,一般为1~5 m。沾化凹陷30多口井滩坝砂体的岩石矿物成分统计结果表明,其石英含量一般为60%~80%,长石含量多小于10%,岩屑含量一般为10%~20%,反映出较高的岩石成分成熟度。研究区钻井取心样品的激光粒度分析结果表明,滩坝砂体的分选性较好,粒屑颗粒的粒度中值主要分布于 $3\phi\sim 5\phi$,分选系数一般小于1.5,说明其具有较高的结构成熟度。粒度概率累积曲线以一跳一悬和两跳一悬的两段式和三段式为主(图1),跳跃次总体和悬浮次总体的交切点为 $3\phi\sim 4\phi$,跳跃次总体的含量为60%~90%,悬浮次

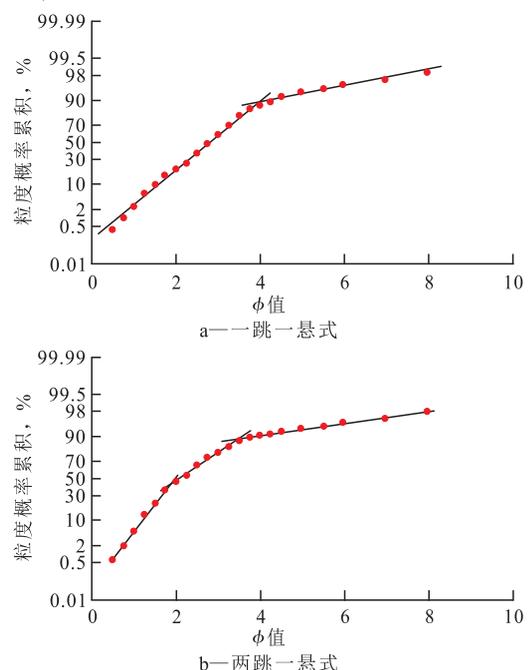


图1 沾化凹陷罗354井沙四段上亚段砂岩滩坝粒度概率累积曲线

Fig.1 The probability curves of sandy beach-bars in Luo354 Well in the upper fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua depression

总体的含量为10%~40%,缺乏滚动成分,反映出沉积时较强的水动力条件。砂岩滩坝中发育多种类型的沉积构造,常见平行层理、浪成交错层理和低角度交错层理,亦可见波状、透镜状和压扁层理,以及生物扰动构造,反映出浅水较强水动力环境下的波浪冲刷、沿岸流对沉积物的改造以及生物扰动等沉积特征;其中,交错层理的沉积纹层倾向具有双向性特征,表明其沉积时的水流具有多向性。

2.2 碳酸盐岩滩坝

2.2.1 生物礁

生物礁岩性主要为灰色灰质枝管藻白云岩、枝管藻白云岩、枝管藻灰岩、介形虫泥晶灰岩、螺灰岩和泥晶藻灰岩等,组成岩石的主要成分有藻屑、粉屑、砂屑、团块、枝管藻、藻泥、介形虫和生物碎片等。生物礁的岩石矿物成分主要为白云石,约占90%;其次为方解石,约占10%;藻类和内碎屑较发育,平均含量分别约为35.5%和35.3%;基质白云石和方解石胶结物平均含量分别为17.5%和7.91%。研究区生物礁的储集空间类型主要有粒间孔、溶孔和裂缝,总面孔率平均为4.9%。胶结物主要为云质藻屑—藻团块和白云质藻屑—砂屑等,约占80%;砂屑轮廓和形态模糊,常被藻屑粘连(图2a,图2b)。

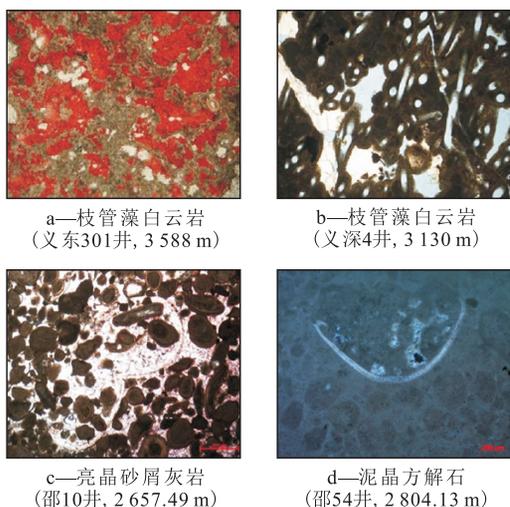


图2 沾化凹陷沙四段上亚段碳酸盐岩滩坝铸体薄片

Fig.2 The casting thin sections of carbonate beach-bar in the upper fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua depression

2.2.2 灰岩滩坝

灰岩滩坝的岩性以灰色、深灰色灰岩为主,部分为泥灰岩;其中,灰岩包括亮晶砂屑灰岩、亮晶粉屑灰岩、泥晶砂屑灰岩、泥晶砂砾屑灰岩和石膏质砂屑灰岩等多种类型;亮晶砂屑灰岩的砂屑间充填亮晶方解石,砂屑和粉细砂纹层间互层;方解石含量较高,且见较多的介形虫等生物碎屑(图2c,图

2d)。灰岩滩坝的岩石矿物成分主要为方解石,其含量平均为94.3%;泥质含量平均为3%,黄铁矿含量平均为0.83%,有机质含量平均为0.5%。其中,陆源碎屑含量平均为2%,介形虫含量平均为3%。

3 平面分布特征

砂岩滩坝的发育需岸流和波浪的再搬运和再沉积^[16],因此水动力条件决定了滩坝砂体主要分布于受湖浪和暗流影响的滨浅湖区域、湖泊中的水下隆起部位以及三角洲(或扇三角洲)等粗碎屑砂岩沉积体的前缘。沾化凹陷滩坝砂体的平面分布具有明显的规律性,受罗家鼻状构造影响,在其两翼发育较大规模的滩坝砂体,主要分布于罗69井—罗斜153井区和义17井—义172井区;此外,在盆地边缘扇三角洲等粗碎屑砂岩沉积体的前缘也有零星分布。碳酸盐岩滩坝多分布于物源供给不足、缺乏大型河流注入的水体较为安静的湖湾区域^[5]。研究区灰岩滩坝主要分布于邵家洼陷,几乎覆盖整个洼陷,在沾化凹陷边缘与垦西洼陷交界区域也有小范围分布;生物礁的平面分布则严格受义东断裂带控制,主要沿断裂带呈长条形展布(图3)。

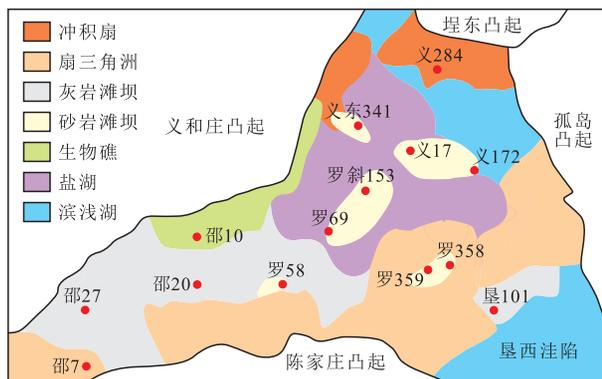


图3 沾化凹陷沙四段上亚段沉积相平面分布

Fig.3 The sedimentary facies plane distribution of the upper fourth member of Shahejie Formation in Zhanhua depression

4 沉积主控因素

在陆相断陷湖盆中,滩坝沉积受古气候、古地貌、古物源、古水流方向以及水动力条件等多重因素控制^[10, 18-20],且各因素并不是孤立发挥作用^[16]。分析沾化凹陷滩坝的沉积规律,认为其沉积主控因素主要有3个方面,分别为古气候、古地貌和古物源;其中,古气候和古地貌决定古水流方向和动力条件,古物源决定不同区域沉积物的性质。

4.1 古气候

在沙四段下亚段沉积时期,沾化凹陷气候干旱,湖盆范围较小;至沙四段上亚段沉积时期,气候向温热潮湿转变,湖盆范围扩大,但湖水蒸发量仍很大,湖水相对较浅。盆地边缘水体受周缘淡水注入的影响,含盐度较低,以陆缘碎屑和碳酸盐岩沉积为主;而湖盆中心则出现咸化湖沉积,发育较厚层的膏盐岩和泥膏岩沉积。研究区沙四段上亚段沉积时期的气候条件有利于滩坝砂体的形成:①受水量较小的影响,研究区南部缓坡带和地形落差较小的沾化凹陷的水体较浅,以滨浅湖沉积为主,为滩坝形成的有利沉积环境;②温湿的气候条件使研究区发育较多的造礁生物,如中国枝管藻和山东枝管藻等,为生物礁的形成奠定了物质基础。

4.2 古地貌

古地貌控制滩坝的发育类型,也影响滩坝的厚度和规模^[20]。研究区古近纪在中生代基础上继承性发育,处于断陷期,发生强烈的拉张和扭转沉降;至沙四段沉积中—晚期,盆地主体表现为北陡南缓的构造特征,南部地势平缓,向盆地中心方向发育罗家鼻状构造,形成滨浅湖中的平缓隆起构造,为滩坝的形成创造了很好的条件。四扣洼陷西部发育构造断阶带,其紧邻义东断裂带,由于同沉积断裂活动,导致湖水深度平稳变化,有利于生物礁发育;义东断裂带的生物礁体呈近南北向平行分布,反映其生长发育受构造断阶带古地貌格局控制。受邵家断层控制,在邵家洼陷形成台凹和台坪相间的构造格局;其中,台坪相对平缓、水体较浅且宁静,有利于碳酸盐岩滩坝的沉积,但由于盆地沉降和水体增减导致水深发生季节性变化,不利于生物礁的连续发育,因此在邵家洼陷以灰岩滩坝沉积为主。

4.3 古物源

除古气候和古地貌控制因素之外,古物源对滩坝的发育也具有决定性作用^[20]。沾化凹陷沙四段上亚段砂砾岩含量统计结果表明,研究区的物源主要来自于3个区域,分别为南部陈家庄凸起、东部孤岛凸起和北部埕宁隆起区;其中陈家庄凸起由于受中段罗家鼻状构造的影响,又分为东部和西部2个物源区,发育东、西2个扇体。由于陈家庄凸起西端前缘的坡度较平缓,因此砂砾岩进入湖盆的距离较近,砂砾岩含量较高的区域主要位于盆地的边缘;但在罗家鼻状构造的砂砾岩含量仍达到10%左右,通过录井和岩心资料分析发现,其主要为粉砂岩和细砂岩,应为滩坝砂体发育的主要区域。邵家洼陷和义东断裂带均缺乏物源供给,其湖水宁静、清澈,

具备碳酸盐岩滩坝沉积的理想条件;在邵家洼陷沉积了大量的灰岩滩坝,沿义东断裂带下降盘二台阶的浅水区域则以发育生物礁为主。

5 结束语

沾化凹陷沙四段上亚段发育砂岩滩坝和碳酸盐岩滩坝2种类型。砂岩滩坝以粉、细砂岩为主,与泥岩呈频繁的薄互层沉积,分选好、成熟度高,沉积时的水动力条件较强。碳酸盐岩滩坝可分为生物礁和灰岩滩坝2种类型,灰岩滩坝的岩性以灰色、深灰色灰岩为主,生物礁以灰色灰岩和灰质白云岩为主,分选相对较差,沉积时的搬运距离较近或为原地沉积。古气候、古地貌和古物源是研究区滩坝沉积的主要控制因素。独特的古气候条件决定了研究区水量相对缺乏,与南缓北陡的古地貌特征和西部物源缺乏的古物源特征共同控制滩坝沉积的区域、规模和类型。沾化凹陷南部发育砂岩滩坝,邵家洼陷发育大面积灰岩滩坝,沿义东断裂带下降盘二台阶主要发育生物礁。明确滩坝沉积的主控因素及不同类型滩坝的分布规律,对研究区下步的整体勘探部署具有重要意义;但由于滩坝沉积的岩性细、地层薄,难于识别,应加强对其成藏机理及测、录井综合识别方法的研究,以减少勘探风险。

致谢:胜利油田分公司河口采油厂刘魁元、单宝杰和郭福祿等专家和学者在项目研究和资料提供等方面给予了支持和帮助,特此感谢!

参考文献:

- [1] 王益维,张士诚,李宗田,等.深层低渗透储层压裂裂缝处理技术[J].特种油气藏,2010,17(3):87-89.
Wang Yiwei, Zhang Shicheng, Li Zongtian, et al. Induced fracture treating technology for deep low permeability reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(3): 87-89.
- [2] 蔡星星,唐海,周科,等.低渗透薄互层油藏压裂水平井开发井网优化方法研究[J].特种油气藏,2010,17(4):72-74.
Cai Xingxing, Tang Hai, Zhou Ke, et al. Pattern optimization of hydraulically fractured horizontal wells in low permeability and thin interbedded reservoirs [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(4): 72-74.
- [3] 吴崇筠.湖盆砂体类型[J].沉积学报,1986,4(4):1-27.
Wu Chongyun. Sandbodies in lake basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(4): 1-27.
- [4] 信荃麟,朱筱敏,郑清,等.渤海湾盆地第三系断陷湖盆沉积体系与油气分布[J].石油大学学报:自然科学版,1989,13(5):11-17.
Xin Quanlin, Zhu Xiaomin, Zheng Qing, et al. Depositional system

- and oil-gas occurrences of Tertiary down-faulted lacustrine basins in Bohai Basin of China[J].Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 1989, 13(5): 11-17.
- [7] 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 20-28.
- Zhu Xiaomin, Xin Quanlin, Zhang Jinren. Sedimentary characteristics and models of the beach-bar reservoirs in faulted down lacustrine basins [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(2): 20-28.
- [6] 操应长, 王健, 刘惠民, 等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(6): 5-10.
- Cao Yingchang, Wang Jian, Liu Huimin, et al. Sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbodies in the upper part of the fourth member of Paleogene in the south slope of Dongying depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2009, 33(6): 5-10.
- [7] 邬金华, 张哲, 王柏轩. 东营凹陷沙一段滩坝—泻湖沉积体系和层序发育的控制特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(1): 21-25.
- Wu Jinhua, Zhang Zhe, Wang Boxuan. Barrier-lagoon sedimentary system and sequence development control of Shahejie formation member 1 of Dongying sag [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(1): 21-25.
- [8] 王升兰, 姜在兴, 邱隆伟, 等. 现代滩砂沉积特征及其对油气勘探的启示[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(1): 16-19.
- Wang Shenglan, Jiang Zaixing, Qiu Longwei, et al. Characteristics of the modern beach and their significance to hydrocarbon exploration [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 16-19.
- [9] 路慎强, 王健, 操应长, 等. 车西洼陷沙二段滩坝砂体粒度特征及其水动力学意义[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 26-29.
- Lu Shenqiang, Wang Jian, Cao Yingchang, et al. Study on characteristics and hydrodynamic significance of grain size components of beach-bar sandbodies, second member of Shahejie formation, Chexi sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 26-29.
- [10] 王延章, 宋国奇, 王新征, 等. 古地貌对不同类型滩坝沉积的控制作用——以东营凹陷东部南坡地区为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 13-16.
- Wang Yanzhang, Song Guoqi, Wang Xinzheng, et al. Controlling effect of paleogeomorphology on deposition of beach and bar sand reservoir—case study of south slope, east Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(4): 13-16.
- [11] 王健, 操应长, 刘惠民, 等. 东营凹陷南坡沙四段上亚段滩坝砂岩储层孔喉结构特征及有效性[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 21-24, 34.
- Wang Jian, Cao Yingchang, Liu Huimin, et al. Controlling factors and influence on reservoir pore throat structure of beach-bar sands, upper part of Sha IV member, south slope of Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(4): 21-24, 34.
- [12] 张永贵, 宋在超, 周小进, 等. 琼东南盆地南部中新统生物礁的识别[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 307-309.
- Zhang Yonggui, Song Zaichao, Zhou Xiaojin, et al. Identification of reef in Miocene, south of Qiongdongnan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 307-309.
- [13] 陈雷, 陆永潮, 王振峰, 等. 南海西部深水区台缘结构、生物礁发育特征及控制因素分析[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 607-612.
- Chen Lei, Lu Yongchao, Wang Zhenfeng, et al. Structure of carbonate platform margin and characteristics of reef and their controlling factors in western deep-water region of South China Sea [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 607-612.
- [14] 刘磊, 朱博华, 刘显太, 等. 中国滩坝砂勘探现状与储层基本特征分析[J]. 特种油气藏, 2013, 20(5): 14-18.
- Liu Lei, Zhu Bohua, Liu Xiantai, et al. Exploration status and basic characteristics of beach-bar sand reservoirs in China [J]. Special Oil & Gas Reservoir, 2013, 20(5): 14-18.
- [15] 刘鑫金. 沾化凹陷四扣洼陷及周边沙四段礁灰岩油藏成藏机理研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2009: 19-22.
- Liu Xinjin. Study on forming mechanism of reef reservoirs bearing in Es₄ Formation in Sikou sag and periferal area of Zhanhua depression [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2009: 19-22.
- [16] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 310-312.
- Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 310-312.
- [17] 陈世悦, 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3): 1-3.
- Chen Shiyue, Yang Jianping, Cao Yingchang. Sedimentary characteristics of two kinds of beach-bars of Oligocene Shahejie formation in western Huimin depression, China [J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(3): 1-3.
- [18] 王居峰. 济阳坳陷东营凹陷古近系沙河街组沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 45-58.
- Wang Jufeng. Sedimentary facies of the Shahejie Formation of Paleogene in Dongying Sag, Jiyang Depression [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 45-58.
- [19] 李国斌, 姜在兴, 陈诗望, 等. 利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征及控制因素分析[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 911-921.
- Li Guobin, Jiang Zaixing, Chen Shiwang, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of beach bars in the Upper Sub-member of the Fourth Member of the Shahejie Formation in the Lijin subbasin [J]. Geology in China, 2008, 35(5): 911-921.
- [20] 邓宏文, 马立祥, 姜正龙, 等. 车镇凹陷大王北地区沙二段滩坝成因类型、分布规律与控制因素研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 715-724.
- Deng Hongwen, Ma Lixiang, Jiang Zhenglong, et al. Sand bank generation types and its controls on their distribution, the second member of Shahejie formation, lower Tertiary, Dawangbei, Chechen depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 715-724.